

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

MACHINING OF STAINLESS STEELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN PERONČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na řešení problematiky obrábění korozivzdorných ocelí. Provádí analýzu korozivzdorných ocelí z hlediska označování, chemického složení, fyzikálních a mechanických vlastností. Dále se zabývá rozбором problematiky obrábění, specifikací geometrie a materiálu řezného nástroje a řeznými podmínkami.

Klíčová slova

Korozivzdorná ocel, obrábění, nástroj, řezné podmínky

ABSTRACT

Bachelor thesis is specialized to solving of problems of stainless steels machining. There is carried out the analysis of stainless steels in term of marking, chemical composition, physical and mechanical properties. In the following it deals with analysis of machining, specification of geometry and material of cutting tools and cutting conditions.

Key words

Stainless steels, machining, tool, cutting conditions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PERONČÍK, M. *Obrábění korozivzdorných ocelí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 31 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Obrábění korozivzdorných ocelí vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname použitej literatúry.

V Brne dňa 20.05.2008



Martin Perončík

Pod'akovanie

Ďakujem týmto doc. Ing. Antonovi Humárovi, CSc. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní bakalárskej práce.

Obsah

1. Úvod	5
2. Analýza koróziivzdorných ocelí.....	6
2.1 Legujúce prvky	6
2.2 Mechanické vlastnosti.....	7
2.3 Fyzikálne vlastnosti	9
2.4 Druhy koróziivzdorných ocelí.....	10
2.5 Označovanie ocelí podľa rôznych noriem.....	13
3. Obrobiteľnosť koróziivzdorných ocelí	15
3.1 Oblasť obrobiteľnosti	15
3.2 Teplo v oblasti rezania	16
3.3 Rezné sily	17
3.4 Legujúce prvky – ich vplyv na obrobiteľnosť	17
3.5 Tvorba triesky.....	17
4. Špecifikácia nástrojov, ich geometrie a rezných podmienok pre efektívne obrábanie koróziivzdorných ocelí	18
4.1 Požiadavky na nástroj	18
4.2 Opatrenie reznej hrany nástroja	19
4.3 Voľba nástroja	24
4.4 Geometria vymeniteľných rezných dosťičiek na sústruženie koróziivzdorných ocelí ...	26
4.5 Oblasť použitia vymeniteľných rezných dosťičiek	28
5. Záver.....	29
Zoznam použitej literatúry	31

1. Úvod

Ušľachtilá koróziivzdorná oceľ je súhrnný výraz pre nehrdzavejúcu oceľ. Tieto ocele obsahujú minimálne 10,5% chrómu (Cr) a v porovnaní s nelegovanými oceľami vykazujú výrazne lepšiu odolnosť proti korózii. Vyššie obsahy chrómu a ďalšie podiely legujúcich prvkov, ako napr. nikel (Ni) a molybdén (Mo) koroznú odolnosť ďalej zvyšujú. Okrem toho je možné dolegovávať ešte niektorými inými prvkami, ktoré pozitívne ovplyvňujú ďalšie vlastnosti, napr. odolnosť proti medzikryštalickej korózii, pevnosť a obrobitelnosť.

Od vynájdenia nehrdzavejúcich ocelí v roku 1912, začali ich výrobcovia a spracovatelia pre ne používať rôzne obchodné mená. Slovo ušľachtilá oceľ bez dodatku „koróziivzdorná“ pre ich označovanie nestačí, pretože k ušľachtilým oceliam patria i skupiny ušľachtilých konštrukčných ocelí, ložiskových, rýchlorezných a nástrojových ocelí s úplne inými úžitkovými vlastnosťami.

Ušľachtilé nehrdzavejúce ocele vo svojej dlhoročnej histórii na základe ich vlastnej odolnosti proti korózii a dobrých mechanických vlastností nadobúdali stále väčší význam v spracovateľských oblastiach.¹

Koróziivzdorné ocele sa vyrábajú ako valcované a kované ocele a ako odliatky.

Pri obrábaní koróziivzdornej ocele platia za ťažkoobrobitelné predovšetkým austenitické ocele. Obrobitelnosť týchto ocelí je nepriaznivo ovplyvnená ich veľkým sklonom k spevňovaniu za studena, nízkou tepelnou vodivosťou a dobrou húževnatosťou. Najdôležitejším prvkom, ktorý prispieva k zlepšeniu obrobitelnosti koróziivzdornej ocele, je síra.

Pri trieskovom obrábaní koróziivzdorných ocelí je snahou dosiahnuť lámavosť triesky na drobné časti, hladký povrch a čím najnižšie opotrebenie nástrojov pri relatívne vysokých rezných rýchlostiach (100-300 m/min.) a posuvoch na otáčku (0,1-3 mm).

2. Analýza koróziivzdorných ocelí

Koróziivzdorná oceľ je legovaná oceľ, ktorá tvorí špeciálnu skupinu ocelí. Hlavnými legujúcimi prvkami sú chróm /Cr/ a nikel /Ni/, pričom oceľ má nízky obsah uhlíka. Podiel jednotlivých legujúcich prvkov je určovaný podľa potreby dosiahnutia špeciálnych vlastností materiálu.

Koróziivzdorné ocele sú vo veľkej miere odolné proti pôsobeniu chemických zlúčenín. Táto vlastnosť, často označovaná ako odolnosť, sa získava pridávaním 11 až 13 % chrómu. Rovnomerná, tenká a kompaktná povrchová vrstva, ktorá sa vytvorí na povrchu materiálu je tvorená hlavne kyslíčnikmi chrómu, ktorá chráni materiál pred škodlivými vplyvmi okolia. Odolnosť materiálu proti korózii sa dá zlepšiť v prvom rade zvýšením obsahu chrómu a molybdénu, ale tiež pridávaním niklu, ktorý zvyšuje schopnosť tvorenia austenitu. Oceľ s obsahom 18 % Cr a 8 % Ni je odolná proti väčšine korozívnych prostredí.

Mikroštruktúra ocelí podstatne ovplyvňuje jej mechanické vlastnosti a má veľký význam z hľadiska odolnosti proti korózii pri únave.

Koróziivzdorné ocele je možné rozdeliť podľa ich mikroštruktúry do nasledujúcich hlavných skupín:

- feritické,
- martenzitické,
- austenitické,
- feriticko-austenitické (Duplex),
- vytvrditeľné (PH).

Akú má oceľ štruktúru je závislé hlavne na jej chemickom zložení, ale je ju možné meniť aj tepelným spracovaním, alebo tvárnením za studena. Štruktúra ocele je určená vzájomným pomerom obsahu jednotlivých legujúcich prvkov.²

2.1 Legujúce prvky

Vplyv legujúcich prvkov sa môže pri koróziivzdorných oceliach prejaviť v rôznych smeroch.

Základné sú dva hlavné smery - legujúce prvky tvoriace ferit (Cr, Mo, Si) a legujúce prvky tvoriace austenit (C, N, Mn, Ni a Cu).

Uhlík (C)

Väčšina koróziivzdorných ocelí má malý obsah uhlíka (0,02 – 0,05%), pretože malý obsah uhlíka zlepšuje zvariteľnosť a bráni tvoreniu karbidov, ktoré je spojené so vznikom medzikryštalickej korózie. V niektorých prípadoch majú žiaruvzdorné materiály často vyšší obsah uhlíka, pretože uhlík zvyšuje medzu pevnosti pri tečení. V modernej metalurgii sa nahradzuje uhlík pridávaním dusíka, aby sa zvýšila pevnosť.

Chróm (Cr)

Chróm je hlavný legujúci prvok podporujúci vytvorenie feritickej štruktúry koróziivzdorných ocelí. Platí pravidlo, že s rastúcim obsahom chrómu sa zlepšuje odolnosť proti korózii. Prísada chrómu nemení štruktúru čistého železa (feritu). Feritické koróziivzdorné chrómové ocele majú teda podobné fyzikálne vlastnosti ako konštrukčné uhlíkové ocele.

Nikel (Ni)

Nikel je hlavný legujúci prvok tvoriaci austenitickú štruktúru. Ak pridáme do koróziivzdornej chrómovej ocele dostatočné množstvo niklu, bude mať oceľ štruktúru austenitickú a zmenia sa tým jej mechanické a fyzikálne vlastnosti. Rastúci obsah Ni v austenitických koróziivzdorných oceliach zlepšuje odpor proti korózii pri únave. Ak je obsah niklu dostatočne vysoký, má koróziivzdorná oceľ austenitickú štruktúru, čo vedie opäť k podstatným zmenám mechanických vlastností: k lepšej tváriteľnosti, húževnatosti, žiarupevnosti, zvariteľnosti, k vyššej odolnosti proti korózii atď. V tomto stave je oceľ nemagnetická.

Molybdén (Mo)

Podobne ako chróm i molybdén podporuje tvorenie feritu. Molybdén značne zlepšuje celkovú odolnosť proti korózii koróziivzdorných ocelí oproti väčšine prostriedkov ako sú napr. kyseliny, s výnimkou silne oxidačných tekutín, ako je kyselina dusičná. Molybdén podstatne zlepšuje odolnosť proti hĺbkovej miestnej korózii a korózii štruktúry. Molybdén zlepšuje vlastnosti ocelí hlavne tam, kde sa jedná o ich použitie pri vysokých teplotách.

Titán (Ti) a Niób (Nb)

Oba tieto legujúce prvky ľahko tvoria karbidy s uhlíkom. Sú známe ako stabilizačné prvky a používajú sa v oceliach s relatívne vysokým obsahom uhlíka ($>0,05\%$), aby sa zabránilo tvoreniu karbidov chrómu a z toho vyplývajúcemu riziku medzikryštalickej korózie. Niób je niekedy označovaný ako Columbium (Cb).

Meď (Cu) a Dusík (N)

Meď zlepšuje odolnosť proti korózii vzhľadom k pôsobeniu niektorých kyselín. Dusík pôsobí, podobne ako nikel, na tvorenie austenitu, má rovnaký účinok na mikroštruktúru ako nikel a preto ho môže do určitej miery nahradiť. Dusík zvyšuje pevnosť a zlepšuje zvariteľnosť koróziivzdorných ocelí typu Duplex.²

2.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti ocelí sa charakterizujú predovšetkým jej pevnosťou, to znamená jej chovaním pri tlakovom a ťahovom zaťažení. Tieto vlastnosti sú závislé na teplote. Na určenie mechanických vlastností ocele existujú rôzne skúšobné metódy:

- skúška ťahom
- skúška tvrdosti
- rázová skúška
- skúška ohybom
- dlhodobá skúška tečenia

Tieto vlastnosti dôležité pre užívateľov koróziivzdorných ocelí sú uvádzané v materiálových listoch. Takto môže byť udaná napr. medza klzu pri 0,2% alebo 1% pevnosti

v ťahu pri 20°C a vyšších teplotách, predĺženie a tvrdosť pri izbovej teplote. Uvedené vlastnosti ocelí závisia na jej zložení a štruktúre.

Tesne usporiadaná kryštalická štruktúra, teda austenitická, znižuje difúziu viac než štruktúra feritická. Hrubsie, väčšie zrná majú priaznivý vplyv na zníženie difúzie pozdĺž zŕn. Zmene kryštalickej štruktúry a hraniciam zŕn sa dá zabrániť vylúčením karbidov titánu a nióbu v stabilizovanej forme. Predĺženie pri tečení nastáva pri teplotách nad 400 - 500°C. Výpočet pevnosti pre materiály, ktoré sú vystavené teplotám nad 550°C vychádza zo špeciálnych údajov medze pevnosti pri tečení. Táto je definovaná ako napätie, pri ktorom dôjde k porušeniu skúšobnej vzorky materiálu po určitej dobe - väčšinou sa udáva po 100 000 hodinách (asi 11 rokov).

Medza pevnosti pri tečení

Dlhé pracovné časy, ktoré predpokladáme pri súčiastkách zo žiaropevnej ocele tvoria fenomén, ktorý môže mať krajne nepriaznivé účinky na použiteľnosť daného materiálu. Vlastnosť označovaná ako chovanie pri tečení (predĺženie pri tečení) sa prejavuje hlavne pri relatívne malých konštantných zaťaženiach a s rastúcim časom dochádza k zníženiu pevnosti materiálu, pričom môže dôjsť až k porušeniu súčiastky.

Vysoké teploty zvyšujú pohyblivosť atómov v materiáloch. Kohézne sily sa znižujú tak dlho, až nakoniec zaťaženie pomerne malými silami môže spôsobiť trvalú deformáciu. Z tohto dôvodu sa pri vyšších teplotách znižuje v materiáloch v rovnakej miere medza pevnosti pri tečení. Je pravidlom, že difúzia a zmeny kryštálovej mriežky majú byť s ohľadom na zlepšenie medze pevnosti pri tečení minimalizované.

Stabilita štruktúry

Materiály, ktoré sú v praxi vystavované vysokým teplotám, môžu vykazovať zmenu štruktúry, ktorá je vyvolaná určitým druhom chemickej reakcie v materiály. Či a v akej miere toto nastane, závisí na teplote a na druhu materiálu.

Pri feritických oceliach môže nastať rast zŕn pri teplote nad 900°C. Ak potom oceľ ochladíme na izbovú teplotu, bude krehká a citlivá na rázové zaťaženie. Zvláštnu pozornosť vyžaduje materiál (ak má byť ohýbaný alebo vyrovnávaný) ak už bol týmto vysokým teplotám vystavený. Ak je táto feritická koróziivzdorná oceľ ohriata v rozmedzí teplôt 400 - 500°C, vznikne tzv. 475° skrehnutie. K zabráneniu tohto javu je nutné uvedený teplotný rozsah prejsť pri ohreve a ochladzovaní rýchlo.

Feriticko-austenitické (Duplex) ocele majú tiež sklon k hore uvedenému skrehnutiu, zatiaľ čo austenitické nie sú k tomuto javu citlivé. Vo vnútri kritického intervalu teplôt vznikajú pri väčšine ocelí tvrdé a krehké intermetalické fázy. Najdôležitejšou z nich je sigma fáza, ktorá značne znižuje fázovú pevnosť.

Pri feritických oceliach je kritický interval teplôt pre tvorenie sigma fázy medzi 500 - 800°C, zatiaľ čo u austenitických ocelí je medzi 550 - 900°C, podľa druhu ocele. Pri bežných oceliach, ako napr. AISI 304, 316 a 321 (W.-Nr. 1.4301, 1.4401/1.4436 a 1.4541); DIN X5 (CrNi 18 10, X5 CrNiMo 17 12 2/X5CrNiMo 17 13 3 a X6 CrNiTi 18 10) nastáva tiež tvorenie sigma fázy, ale veľmi pomaly. Pri oceliach s vyšším obsahom legujúcich prvkov, špeciálne pri oceliach s vysokým obsahom molybdénu vzniká sigma fáza rýchlejšie a tiež pri vyšších teplotách.

Pri chybnom tepelnom spracovaní alebo zváraní vzniká nebezpečenstvo vzniku karbidov chrómu po hraniciach zŕn. Toto znižuje odolnosť proti medzikryštalickej korózii, lebo

pozdlž hraníc vzniká oblasť chudobná na chróm. Obsah uhlíka pri koróziivzdorných oceliach je bežne malý, aby sa znížilo riziko vylučovania karbidov chrómu. Pri tzv. stabilizovaných koróziivzdorných oceliach, ktoré obsahujú malé percento Ti alebo Nb, nedochádza ku tvoreniu karbidov chrómu, pretože sa miesto nich tvoria karbidy Ti alebo Nb.

Vysokoteplotné materiály bežne obsahujú relatívne vysoké percento uhlíka, ktorý má priaznivý vplyv na medzu pevnosti pri tečení. Uhlík je obsiahnutý v oceli vo forme karbidov. Najvyššiu medzu pevnosti pri tečení majú materiály s malými ale rovnomerne rozloženými karbidmi.

Zrná karbidov sú náchylné k rastu a znižovaniu ich počtu, ak sú vystavené vyšším teplotám. Pri materiáloch, ktoré sú náchylné k tvoreniu karbidov, sa počas ďalšieho použitia v prevádzke znižuje medza pevnosti pri tečení. Doba rastu karbidov je pri feritických oceliach o niečo dlhšia ako pri austenitických. Použitím moderných technológií výroby ocelí a pridávaním určitého množstva dusíka môže byť zmenšený obsah uhlíka, pričom medza pevnosti pri tečení zostane zachovaná. V praxi sa predpokladá pri oceliach používaných pri vysokých teplotách vyšší obsah uhlíka.²

2.3 Fyzikálne vlastnosti

Taktiež fyzikálne vlastnosti koróziivzdorných ocelí sú závislé na teplote. V materiálových listoch sú udávané fyzikálne vlastnosti pri izbovej teplote a pri vybraných vyšších teplotách.

Hustota

Je mierou jednotky objemu, pričom hodnota pre oceľ leží medzi 7, 6 a 8,0 v závislosti na zložení a mikroštruktúre. Austenitické koróziivzdorné oceľe majú o niečo vyššiu hustotu ako oceľ feritické a feriticko-austenitické.

Špecifické teplo

Pod týmto pojmom rozumieme energiu, ktorá je potrebná, aby sa zvýšila teplota jednotky hmoty materiálu o jeden stupeň. Táto hodnota je dôležitá hlavne pre konštruktérov výmenníkov tepla a podobných zariadení.

Tepelná vodivosť

Udáva, v akom rozsahu je oceľ dobrým alebo zlým vodičom tepla, čo taktiež zaujíma hlavne konštruktérov výmenníkov tepla. Feritické a feriticko-austenitické (Duplex) oceľe majú vyššiu tepelnú vodivosť ako oceľ austenitické.

Tepelná rozťažnosť

Vyjadruje sa predĺžením jednotky dĺžky materiálu pri zvýšení teploty o jeden stupeň. Keďže sú číselné hodnoty vyjadrované ako desatinný zlomok, musí byť toto číslo vynásobené miliónom (tj. 10^6). Feritické a Duplex oceľe vykazujú menšiu tepelnú rozťažnosť ako austenitické oceľe.²

Elektrický odpor

Pod týmto pojmom je udávaný odpor proti vedeniu elektrického prúdu.

Modul pružnosti materiálu

Je konštanta, udávajúca dĺžkové predĺženie vzorky v rozsahu pružných deformácií zistených pri štandardnej skúške ťahom. Je možné ju použiť ako hodnotu vyjadrujúcu tuhosť konštrukcie v závislosti na vlastnostiach jednotlivých komponentov (uzlov). Tento modul je tiež mierou schopnosti materiálu pohlcovať mechanickú energiu a špeciálne je dôležitý na výpočet hodnôt z hľadiska pružnosti a pevnosti. Hodnota modulu pružnosti je pri väčšine koróziivzdorných ocelí asi $200\,000\text{ N/mm}^2$.

2.4 Druhy koróziivzdorných ocelí

Feritické koróziivzdorné ocele

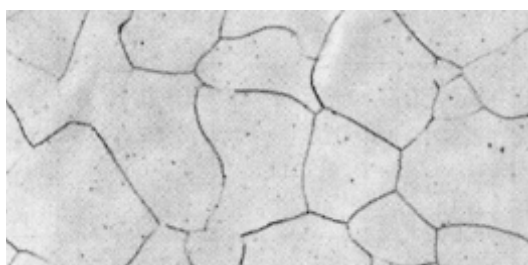
(napr. AISI-405; W.-Nr.1.4002; DIN X6 CrAl 13)

Sú to koróziivzdorné ocele s feritickou jemnozrnnou štruktúrou. V dôsledku relatívne nízkeho obsahu chrómu (11 až 13%) je ich korózna odolnosť obmedzená napr. len na atmosférické podmienky alebo na vodnaté médiá. Tieto ocele nie sú kaliteľné.

Pri izbovej teplote majú feritické koróziivzdorné ocele podobné mechanické vlastnosti ako konštrukčné uhlíkové ocele s porovnateľným obsahom uhlíka, napr. vysokú medzu klzu a malú ťažnosť. Húževnatosť, ktorá sa prejavuje rázovou pevnosťou a ťažnosťou, sa znižuje s rastúcim obsahom chrómu. Pri všetkých feritických oceliach nastáva prechod z tvárneho stavu do krehkého v úzkom rozsahu teplôt okolo izbovej teploty. Takéto ocele teda nie sú vhodné pre použitie za nízkych teplôt.

Vo vyššom rozsahu teplôt majú feritické koróziivzdorné ocele vyššiu medzu klzu ako konštrukčné uhlíkové ocele alebo ocele austenitické, samozrejme ich medza pevnosti pri tečení je menšia. Okrem toho podliehajú zmene štruktúry, ktorá vedie k ich skrehnutiu. Aj cez toto obmedzenie je možné niektoré druhy feritických ocelí použiť aj pri vyšších teplotách, pri ktorých môže byť využitý ich odpor proti sulfidácii.

Automatové ocele sú použiteľné v oblasti feritických druhov s malým obsahom chrómu, pri ktorých sa pridáva síra na zlepšenie ich obrobiteľnosti. Zliatiny s vyšším obsahom chrómu sú používané hlavne tam, kde je dôležitá predovšetkým odolnosť materiálu proti korózii a negatívny vplyv prísady síry nemôže byť akceptovaný.¹



Obr.1 Mikroštruktúra feritickej koróziivzdornej ocele⁷

Martenzitické koróziivzdorné ocele

(napr. AISI-630; W.-Nr.1.4542; DIN X5 CrNiCuNb 17 4)

Sú to koróziivzdorné ocele s martenzitickou štruktúrou, ktorú získajú rýchlym ochladením z austenitickej oblasti. V praxi to znamená, že martenzitické ocele majú obsah uhlíka medzi 0,2 až 1,0% a obsah chrómu 13 až 18%. Vhodnou úpravou povrchu, morením alebo brúsením, dosiahneme dostatočnú koróznú odolnosť.⁷

Tieto ocele sú dodávané väčšinou v žíhanom stave, majú feritickú mriežku obsahujúcu karbidy chrómu. Vzhľadom k vyššiemu obsahu uhlíka, v porovnaní s feritickými oceľami, majú nutne vyšší obsah karbidov.¹

Normálne sa oceľ v tomto stave obrába a po obrobení kalí.



Obr.2 Mikroštruktúra martenzitickej koróziivzdornej ocele⁷

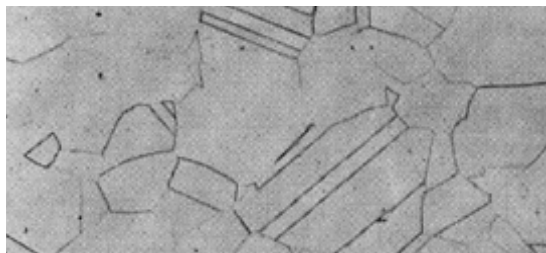
Austenitické koróziivzdorné ocele

(napr. AISI-304/316; W.-Nr.1.4301/1.4401; DIN X5CrNi 18 10/ X5 CrNiMo 17 222)

Sú to koróziivzdorné ocele s austenitickou štruktúrou. Najdôležitejšou vlastnosťou tejto skupiny ocelí je vysoká koróziivzdornosť, ktorá sa s narastajúcim obsahom legúr zvyšuje. Pre austenitické ocele je typická ich náchylnosť k spevňovaniu za studena, ako i malá tepelná vodivosť. V zásade sa dá povedať, že sú horšie obrobiteľné ako iné druhy legovaných ocelí.

Najpoužívanejšie zo všetkých austenitických ocelí je typ 18/8 (18% Cr, 8% Ni), ktorý predstavuje určitý základný štandard odolnosti proti korózii medzi skupinou austenitických ocelí. Ak je požadovaná lepšia odolnosť proti korózii, musí byť do ocele pridaný molybdén, čím sa zvýši odolnosť proti kyselinám. Typ 18/8 a 18/8+2% Mo tvorí prevládajúci počet austenitických ocelí. Na zlepšenie odolnosti proti korózii môžu byť používané tiež viac legované ocele s obsahom chrómu 26% , niklu 22% a s prísadou medi.

Taktiež v skupine 18/8 existujú automatové ocele, pri ktorých sa používa ako legujúci prvok selén. Prísady zlepšujú obrobiteľnosť, ale zhoršujú odolnosť proti korózii a sú vhodné pre ocele, ktoré majú byť použité v prostredí s malým korozívnym pôsobením. V rozsahu typu 18/8+Mo sú k dispozícii ocele s malým a veľmi malým obsahom uhlíka, lebo stabilizované ocele nenachádzajú veľmi veľké uplatnenie. Ocele sa najčastejšie dodávajú v žíhanom stave alebo ťahané za studena a žíhané.¹



Obr.3 Mikroštruktúra austenitickej koróziivzdornej ocele⁷

Austenitická oceľ v žíhanom stave je za účelom získania odolnosti proti korózii po žíhaní prudko ochladená, pričom si zachová svoju obrobitelnosť. Ak sa v dôsledku nesprávneho tepelného spracovania vytvoria na hraniciach zŕn tvrdé a abrazívne karbidy, výrazne klesne jej koróziivzdornosť.

Pre austenitické ocele je pri izbovej teplote typická: nízka medza klzu, relatívne vysoká pevnosť v ťahu a veľmi vysoká ťažnosť. Ocele legované dusíkom majú vyššiu pevnosť a tvrdosť. Austenitické ocele majú dobrú rázovú pevnosť pri izbovej teplote, ale i pri nižších teplotách. Vysoká ťažnosť zaručuje vynikajúcu schopnosť tvárnenia. Vysoká húževnatosť umožňuje použiť austenitické ocele i za veľmi nízkych teplôt, napr. na potrubie pre dopravu tekutých plynov ako je tekutý dusík (-196°C) a pod.

Štandardné austenitické ocele a špeciálne ich stabilizované varianty majú dobré pevnostné vlastnosti pri vysokých teplotách v oblasti tvárnenia za tepla ($500 - 550^{\circ}\text{C}$) a v oblasti tečenia ($550 - 800^{\circ}\text{C}$). Je možné ich použiť pri teplote až 850°C . Zvlášťne (špeciálne) austenitické ocele majú pri izbovej teplote porovnateľné mechanické vlastnosti ako štandardné austenitické ocele. Najzaťaženejšie druhy sú legované dusíkom.⁵

Po ďalšom ohreve na teplotu nad $500 - 600^{\circ}\text{C}$ sa môžu pri vysoko legovaných druhoch tvoriť intermetalické fázy. Tie opäť značne zhoršia mechanické vlastnosti, takéto ocele nie je vôbec možné odporučiť na použitie pri vysokých teplotách. Pod 650°C , však nie sú zmeny štruktúry výrazné.

Z dôvodu vynikajúcej koróziivzdornosti a dobrej žiarupevnosti sú takéto druhy ocelí bežne vhodné na použitie do teploty 750°C . Okrem toho existujú druhy austenitických ocelí, ktoré boli špeciálne vyvinuté pre použitie pri vysokých teplotách až 1150°C .¹

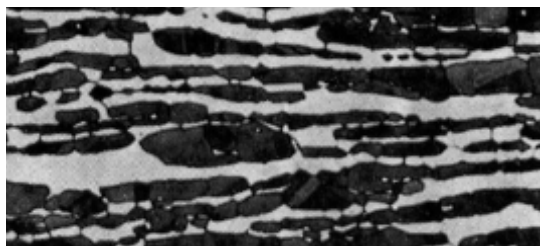
Superaustenitické koróziivzdorné ocele sú vysoko legované materiály určené na použitie vo vysoko agresívnych korozívnych prostrediach a veľmi zle sa obrábajú. Typickým príkladom je Sanicro 28 (Sandvik).

Austeniticko-feritické koróziivzdorné ocele (Duplex ocele)

(napr. AISI-S2304)

Sú to koróziivzdorné ocele, ktoré v štruktúre obsahujú dve zložky, austenitickú a feritickú, pričom ich vzájomný pomer býva spravidla rovnaký (50:50). Vzhľadom k ich dvom zložkám v štruktúre sa často označujú ako duplexné ocele. Tieto ocele majú dobrú odolnosť proti napätovej korózii vyvolanej chloridmi.

Existujú zásadné rozdiely medzi starými typmi feriticko-austenitických ocelí a novo vyvinutými typmi Duplex. Pri týchto typoch boli vlastnosti zlepšené hlavne dôkladným zladením chemického zloženia. Feriticko-austenitické ocele vykazujú značne menšiu rázovú pevnosť ako austenitické ocele. Nové typy Duplex ocele majú vysokú húževnatosť pri relatívne nízkych teplotách.⁵



Obr.4 Mikroštruktúra asuteniticko-feritickej koróziivzdornej ocele⁷

Moderné duplexné koróziivzdorné ocele sú citlivé na skrehnutie pri teplotách nad asi 300°C. To je spôsobené čiastočne 475°- skrehnutím a tiež tvorením sigma fázy. Pod touto hranicou dochádza k zníženiu rázovej pevnosti, ktorá sa dosahuje pri izbovej teplote. Tento spevňovací efekt tiež nastáva pri obrobkoch malých rozmerov.

Moderné Duplex ocele sa dokonca už uplatnili pri výmenníkoch tepla pri vysokých pracovných teplotách. Normálne by však nemali byť tieto ocele používané nad teplotou 300°C.

Vytvrditeľné koróziivzdorné ocele

(napr. AISI-17-7PH; W.-Nr.1.4568, 1.4504, 1.4564; DIN X7 CrNiAl 17 7)

Sú to koróziivzdorné ocele, ktoré vznikajú prirodzeným alebo umelým starnutím austenitických alebo martenzitických ocelí. Tento druh ocelí získa tepelným spracovaním pri relatívne nízkych teplotách veľmi vysokú pevnosť, ktorá sa neprejaví na kvalite presnosti obrobku. Vytvrditeľné koróziivzdorné ocele sa používajú tam, kde je pred vytvrdením požadovaná vysoká pevnosť, celkové zaťaženie účinkom korozívneho prostredia a dobrá obrobitelnosť.

Austenitické vystarnuté koróziivzdorné ocele sa bežne obrábajú pred vytvrdzovaním a síce reznými podmienkami, ktoré sa bežne používajú pre normálne austenitické ocele. Martenzitické vytvrditeľné koróziivzdorné ocele sa obrábajú zásadne v ich martenzitickom stave skôr ako sú tepelne spracované. Platia pre ne podmienky obrábania porovnateľné s podmienkami používanými pri obrábaní martenzitických konštrukčných uhlíkových ocelí.¹

2.5 Označovanie ocelí podľa rôznych noriem

ČSN – (Česká technická norma)

Pôvodne znamenala Československá štátna norma, neskôr Československá norma. Po osamostatnení Českej republiky bolo označenie ČSN zachované a zákonom chránené výlučné slovné označenie je Česká technická norma.

Za písmenovou značkou normy (ČSN) sa uvádza šesťmiestne triediace číslo, v ktorom prvé dvojčíslenie sa oddeľuje medzerou a značí triedu noriem. Tretia a štvrtá číslica označuje skupinu a podskupinu noriem a posledné dvojčíslenie predstavuje poradové číslo normy. Označenie 17 xxx platí pre koróziivzdorné ocele.

Napr.: 17 020 koróziivzdorná oceľ s obsahom C< 0,08%, S< 0,7%, Cr 12-14%.

AISI – (American Iron and Steel Institute) – Americké normy

Bežne známe označenie ako 304, 316 atď. zaviedlo AISI. Pretože v AISI normách nie sú obsiahnuté žiadne moderné špeciálne druhy, sú nahradzované postupne normami UNS.

Napr.: AISI 316.

UNS (Unified numbering system)

Systém je vybudovaný takto:

- písmeno označuje druh materiálu, napr. G prináleží nelegovaným alebo nízko legovaným oceliam, N označuje zliatiny s vysokým obsahom niklu, kde Fe je < 50% a S označuje koróziivzdorné ocele.
- Päťmiestne identifikačné číslo udáva varianty, pričom číslo doteraz používané v AISI je zahrnuté do rady čísiel UNS.

Napr.: S30403, N08904.

BS (British standard) - Anglické normy

BS využívajú číselný systém označenia založený na UNS.

Napr.: 304S14

304 označuje druh ocele podľa AISI, S označuje koróziivzdorný materiál.

DIN - Nemecké normy

Nemecké ocele sú označované číslom materiálu (W.-Nr. – Werkstoff Nummer). Označenie ocelí je 1.xxxx, pričom posledné štyri miesta udávajú presnú špecifikáciu. Označenie 1.4xxx platí pre koróziivzdorné ocele.

Napr.: 1.43xx koróziivzdorné ocele s obsahom Ni> 2% bez Mo.

NF - Francúzske normy

Značky začínajúce vždy AFNOR, po ktorom nasleduje kombinácia písmen a číslíc, ktoré sa vzťahujú k legujúcim prvkom. Značky pre koróziivzdorné ocele začínajú písmenom Z.

Napr.: Z 2 CN 18-10, Z 2 CND 22-05-3.

Na rozdiel od nemeckých skratiek nezodpovedajú písmená a číslice označeniu symbolov chemických prvkov. (Vo francúzskych značkách pre koróziivzdorné ocele znamená: A= hliník, AZ= dusík, C= chróm, D= molybdén, F= síra, K= kobalt, N= nikel, S= kremík, T= titán, U= meď).

SS - Švédske normy

Každá švédska značka noriem platí iba pre jeden jediný druh ocele, pričom každá oceľ je označovaná číslom normy, napr. SS 14 23 33. Prvé dve číslice znamenajú len to, že sa jedná o oceľ. Ocele niklové majú označenie SS 14 25xx.

Napr.: SS 14 25 84, SS 14 25 62.

EN 10027 – Európske normy

Jedná sa o normy ocelí zavádzané Európskou úniou, kde je snaha o zjednotenie jednotlivých národných noriem do jedného uceleného systému. Pri tom sa používa číslo ocele a označenie ocele podľa označenia, ktoré sa používa v nemeckých normách. (Písmená EN je možné vynechať ak je zrejmé, že nemôže dôjsť k zámene s nemeckými číslami materiálov).

Napr.: EN 1.4306; X CrNi 19-11

EN 1.4462; X 2 CrNiMoN 22-5-3

ISO (International standard) – Medzinárodná norma

Normy predstavujú určitý medzinárodný štandard označovania ocelí. Majú podobné značenie ako európske normy. Označenie ocelí je 1.xxxx. Pre koróziivzdorné ocele platí označenie 1.2xxx.

Napr.: koróziivzdorná oceľ 1.2083 ISO X42CrMo.

3. Obrobiteľnosť koróziivzdorných ocelí

Obrobiteľnosť je technologická vlastnosť daného materiálu, ktorá charakterizuje jeho vhodnosť k obrábaniu. Zahŕňa vplyv mechanických a fyzikálnych vlastností materiálu, chemického zloženia, tepelného spracovania, štruktúry a spôsobu výroby polotovaru na kvalitatívne, kvantitatívne a ekonomické výsledky procesu rezania.³

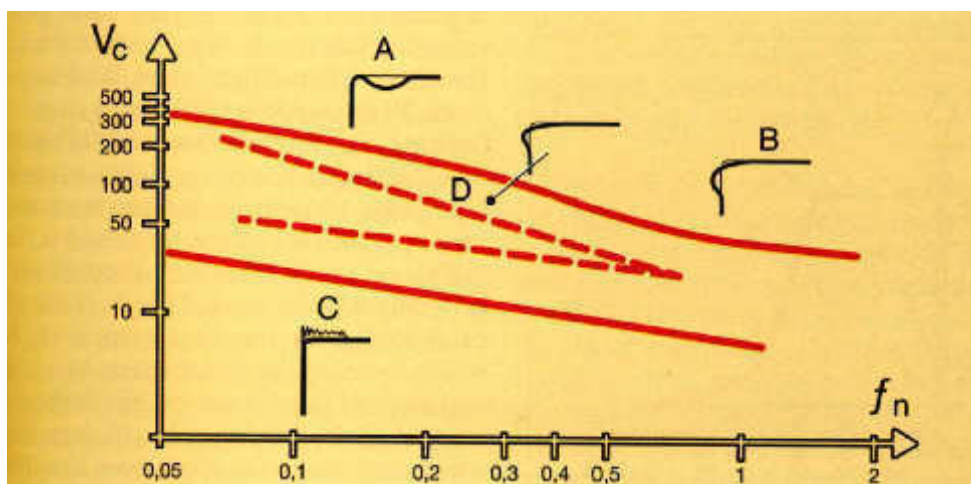
Obrobiteľnosť nie je možné vzťahovať len k samotnému obrábanému materiálu, pretože závisí i na spôsobe obrábania a rezných podmienkach.

Obrobiteľnosť koróziivzdorných ocelí značne kolíše, lebo požiadavky na ne kladené, napr. odolnosť proti korózii a pevnosť v ťahu, značne zhoršujú ich obrobiteľnosť. Je napríklad jednoduché zlepšiť obrobiteľnosť pridaním síry, ako sa to robí pri niektorých druhoch automatických ocelí, ale takéto zlepšenie obrobiteľnosti zhoršuje odolnosť ocele proti korózii. Iné obmedzenia na zlepšenie obrobiteľnosti predstavujú materiálové normatívy. Z hľadiska obrobiteľnosti sa ukázali ako výhodné popustené, za studena ťahané ocele, hlavne mäkké austenitické a feritické ocele. Ak sú nutné také ústupky z hľadiska trvanlivosti rezných hrán nástroja, nastane všeobecne menej problémov s tvorením otrepu, zlou akosťou obrobenej plochy, tvorením nárastku a horšími výsledkami pri rezaní závitov.¹

Feritické ocele sa obrábajú dobre. Sú teda porovnateľné s nízkoalloyovanými konštrukčnými uhlíkovými oceľami. Najlepšie martenzitické druhy s nízkym obsahom Cr alebo C majú podobné vlastnosti, pričom austenitické ocele sú horšie obrobiteľné ako martenzitické. Najpriaznivejšiu obrobiteľnosť z martenzitických ocelí má oceľ s 13%Cr a malým obsahom uhlíka. S rastúcim obsahom chrómu sa obrobiteľnosť zhoršuje, špeciálne druhy s vysokým obsahom uhlíka (0,8-1%) pôsobia vzhľadom ku sklonu k tvoreniu karbidov veľmi abrazívne. Vo väčšine prípadov sa martenzitické ocele obrábajú v žíhanom alebo tiež často v zušľachtenom stave. Je nutné sa tu vyvarovať vysokým teplotám v zóne rezania, aby sme zabránili prekaleniu oceli.³

3.1 Oblasť obrobiteľnosti

Diagram (Obr.5) uvedený na ďalšej stránke ukazuje oblasti (rezná rýchlosť - posuv) odskúšané v praxi pri obrábaní austenitických ocelí vymeniteľnými reznými doštičkami zo spekaných karbidov. Hranice oblasti vyplývajú z rôznych kritérií: z intenzívneho opotrebenia reznej hrany na čele vo forme žliabku (zóna A), z nadmernej plastickej deformácie reznej hrany (zóna B), z tvorenia nárastku pri nízkych rezných rýchlostiach (zóna C). Ďalej sa prejavujú tendencie vedúce k určitej plastickej deformácii reznej hrany pri rezných rýchlostiach nad čiarou (D).²



Obr.5 Vymedzenie pracovných oblastí pre rôzne spôsoby opotrebenia reznej hrany nástroja ²

Pre austenitické ocele je typická ich náchylnosť k spevňovaniu za studena, ako i malá tepelná vodivosť. V zásade sa dá povedať, že sú horšie obrobitelné ako iné druhy legovaných ocelí. Majú sklon k nalepovaniu na reznú doštičku, pričom tu môže dôjsť až k vylamovaniu reznej hrany nástroja. Preto je nutné venovať zvláštnu pozornosť vzniku kolísania výkonu nástroja. Spevňovanie za studena nastáva predovšetkým pri premene časti austenitu na martenzit, ak je materiál vystavený pôsobeniu vysokých pretvárných síl. Austenit sám o sebe je veľmi náchylný k spevňovaniu za studena.

Tento spevňovací efekt sa môže prejaviť veľmi silno a jeho výsledkom je extrémna tvrdosť obrobenej plochy. Pritom rezné sily nie sú vyššie ako tie, ktoré sú pri obrábaní konštrukčných uhlíkových ocelí.

Spracovanie ocele za studena je v zásade do určitej miery spojené s deformačným spevnením. Feritické a martenzitické ocele podliehajú tomuto efektu v rovnakej miere ako nelegované ocele, zatiaľ čo austenitické materiály sú náchylné podstatne viac na deformačné spevnenie. Dokonca ušľachtilé ocele žíhané na odstránenie pnutia podliehajú určitému deformačnému spevneniu pri rovnaní, hrubovaní a pod., čo môže viesť k tomu, že tvrdosť materiálu môže byť na povrchu obrobku dvakrát vyššia ako uprostred. Z tohto dôvodu je výhodné voliť hĺbku rezu a posuv tak, aby špička reznej hrany nástroja bola pod spevnenou oblasťou.

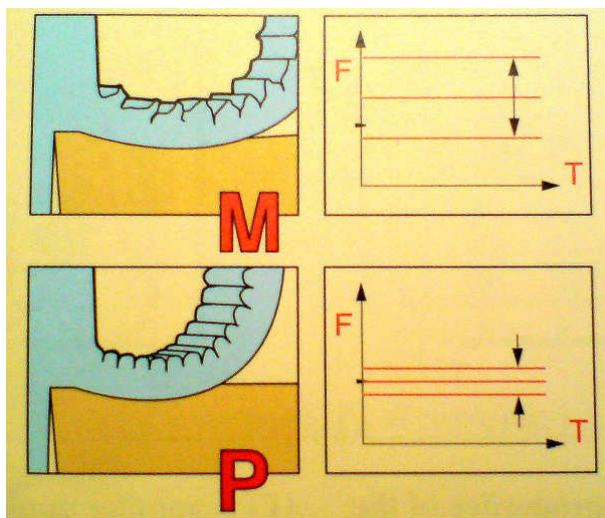
Pri austenitických oceliach nastávajú v mnohých prípadoch problémy spojené s tvorením nárazku, zlou akosťou obrobenej plochy, tvorením otrepov a zlým odvodom triesky. Tomu všetkému sa dá zabrániť použitím materiálov ťahaných za studena a následným tepelným spracovaním. Mali by sme teda vždy zabrániť vzniku hrubej štruktúry, lebo vyššie uvedené zlé vlastnosti sú spôsobené výlučne hrubým zrnom. ⁴

3.2 Teplo v oblasti rezania

Hlavné rozdiely v porovnaní s nelegovanými oceľami sú v tom, že austenitické ocele majú horšiu tepelnú vodivosť ako konštrukčné uhlíkové ocele. Pri obrábaní konštrukčných uhlíkových ocelí je najviac tepla odvádzané trieskou. Malá tepelná vodivosť a vysoká tepelná pohltivosť austenitických ocelí je príčinou vysokej teploty v mieste rezania. Špeciálne pre tieto materiály je dôležité dokonalé chladenie. S rastúcim obsahom legujúcich prvkov rastie tvrdosť za tepla a to vedie k zhoršeniu obrobitelnosti. ¹

3.3 Rezné sily

Vzhľadom ku kolísaniu reznej sily (Obr.6) vzniká pri obrábaní koróziivzdorných ocelí všeobecne podstatne väčší rozptyl veľkosti reznej sily (F) v určitom časovom intervale (T). Zatiaľ čo pri uhlíkových konštrukčných oceliach (P) prebieha plynulý proces tvorenia triesky, pri obrábaní korozivzdorných ocelí (M) – v tomto prípade austenitických – vzniká delená lamelová trieska. Rezné sily veľmi kolíšu, vzniká vlnitá obrobená plocha, Stabilizované ocele (väčšinou s pridávaním legujúceho prvku Ti) sú všeobecne horšie obrobitelné, lebo titán často tvorí karbid titánu, ktorý zvyšuje abrazívne opotrebenie nástroja. Ak znížime obsah uhlíka v oceli, tvorí sa pri obrábaní intenzívne nárastok.²



Obr.6 Rozdielny rozptyl rezných síl pri obrábaní koróziivzdorných ocelí (M) a konštrukčných uhlíkových ocelí (P)²

3.4 Legujúce prvky – ich vplyv na obrobitelnosť

Obrobitelnosť je možné najúčinnnejšie zlepšiť pridaním síry. Alternatívne je možné pridať tiež selén. Pri austenitických oceliach to má celú radu výhod spojených s výrazným zlepšením obrobitelnosti, vzťahujúce sa tak na trvanlivosť reznej hrany, ako aj na tvorenie triesky. Na obrobených plochách môže dôjsť vplyvom plastickej deformácie k spevneniu za studena na hodnotu až 400 – 500 HB do hĺbky asi 0,1 mm. Vrstvu tejto hrúbky musíme vziať do úvahy pri voľbe rezných podmienok. Negatívny uhol čela alebo otupená rezná hrana zväčšujú hrúbku vrstvy, zatiaľ čo pozitívna a hladká rezná hrana ju znižuje. Dôležité je použitie stabilných a tuhých obrábacích strojov a nástrojov. Pretože proces obrábania neprebieha tak rovnomerne ako pri obrábaní konštrukčných uhlíkových oceliach, môže ľahko vzniknúť zlá akosť obrobenej plochy. Tu môžeme použiť kladný uhol čela pre to, aby sa dosiahlo plynulé tvorenie a odchod triesky, s malým kolísaním rezných síl a teploty rezania. Okrem toho sa tým podstatne zníži deformácia obrobku.

3.5 Tvorba triesky

Pri obrábaní austenitických koróziivzdorných ocelí je tvorba triesky závislá na druhu oceli a na zvolenom uhle čela. Pri obrábaní s uhlom iba do 5 stupňov dochádza k menej plynulému odchodu triesky ako pri konštrukčných uhlíkových oceliach. V procese obrábania vedú vznikajúce vibrácie k neustálej zmene veľkosti reznej sily, ktorá sa prejaví vlnitosťou ob-

robenej plochy. Skôr ako dosiahneme bezprostredne pred vlastným obrábaním úber materiálu, je materiál obrobku deformovaný a tvorený trieskou priamo na ostří reznej hrany nástroja. Pri obrábaní s väčším kladným uhlom čela, napr. 20 stupňov vzniká plynulý proces tvorenia triesky a malé kolísanie rezných síl. Trieska odchádza v podstate stabilne cez čelo reznej hrany nástroja. Tangenciálna zložka reznej sily tu pôsobí blízko ostria, ako pri obrábaní konštrukčných uhlíkových oceliach. Pri použití silne pozitívnej („ostrej“) geometrie nástroja sa zabráni spevňovaniu za studena.

4. Špecifikácia nástrojov, ich geometrie a rezných podmienok pre efektívne obrábanie koróziivzdorných ocelí

4.1 Požiadavky na nástroj

K základným požiadavkám kladených na nástroj používaný k obrábaniu koróziivzdorných ocelí patrí riešenie: zaťaženie reznej hrany nástroja veľkými reznými silami a vysokými teplotami, zabránenie tvoreniu nárastku a spevneniu materiálu obrobku za studena.

Tvrdosť materiálu obrobku má bezprostredný vplyv na trvanlivosť reznej hrany nástroja. Tvrdsie materiály sa musia obrábať nižšími reznými rýchlosťami, aby sa dosiahlo požadovanej trvanlivosti reznej hrany. Koróziivzdorná oceľ ťahaná za studena je v dôsledku deformácie vyvolanej tvárnením tvrdšia a má väčšinou austenitickú štruktúru. Dodávaná tyčová oceľ patrí v určitej oblasti k oceliam ťahanými za studena, pričom ich povrch má tvrdosť 300HB a viac, avšak jadro materiálu má tvrdosť iba polovičnú. Chróm má v porovnaní s niklom a molybdénom, ktoré podporujú vznik tvrdosti pri tvárnení, relatívne menší vplyv na obrobiteľnosť. Taktiež samotný proces obrábania má za následok určitý druh spevnenia za studena. Tvrdá vrstva vzniknutá tvárnením je značne hrubšia – špeciálne pri austenitických koróziivzdorných oceliach oproti konštrukčným uhlíkovým oceliam. Na obrábanie takýchto ocelí sa ukazuje výhodné voliť hĺbku rezu a posuv tak, aby špička ostria pracovala pod touto tvrdou vrstvou.

Pri obrábaní má podstatný význam **tepelná vodivosť** obrobku, pretože pri obrábaní konštrukčných uhlíkových ocelí sa najväčšie množstvo vzniknutého tepla odvádza z miesta rezu trieskou. Pri obrábaní koróziivzdorných ocelí, ktoré majú zlú tepelnú vodivosť, sa vzniknuté teplo hromadí v mieste rezu. Tým sa zvyšuje teplota na reznej hrane nástroja, čo zákonite vedie k jeho intenzívnejšiemu opotrebeniu.

Plastická deformácia je najväčší rizikový faktor. Kladná geometria nástroja s otvoreným tvarovačom triesok, zaručuje rovnomerný a plynulý odvod triesok znižuje množstvo tepla vzniknutého pri obrábaní.

Húževnatosť materiálu obrobku je faktor, ktorý kladie značné nároky na schopnosť tvarovania a lámania triesky, práve pri nízkolegovaných uhlíkových oceliach. Austenitická koróziivzdorná oceľ má práve tak veľkú húževnatosť a vyžaduje pre obrábanie značnú energiu, čo je tiež dôvodom vývinu väčšieho množstva tepla.

Pri obrábaní koróziivzdorných ocelí je ďalším dôležitým faktorom tvorenie otrepu, ktorý vzniká pri extrémne ťažkých podmienkach obrábania. Tvoreniu otrepu je možné zabrániť použitím kladnej geometrie, ktorá je vhodná na tento druh materiálu.

Ako je vidieť existuje celá rada faktorov, ktoré zhoršujú obrábiteľnosť koróziivzdorných ocelí, špeciálne austenitických druhov. Úspešné obrábanie koróziivzdorných ocelí, ktoré majú sklon k spevňovaniu, zlú tepelnú vodivosť a sú húževnaté, vyžaduje správnu voľbu špeciálne vyvinutých nástrojov a ich použitie pri optimálnych podmienkach. Dôležité sú hlavne rezné podmienky a použitie obrábacieho stroja, ktorý odpovedá najnovšiemu stavu techniky.

Vymeniteľné rezné doštičky s pozitívnou geometriou zaručujú rovnomerné obrábanie a plynulý odvod triesok, malé kolísanie veľkosti rezných síl, nízke teploty rezania a nepatrné spevnenie materiálu obrobenej plochy.

Ostrá rezná hrana zaručuje „mäkký“ rez, malé rezné sily a nepatrné tvorenie otrepu. Ostrá rezná hrana znamená malé deformácie materiálu obrobku. Na obrábanie koróziivzdorných ocelí sa doporučuje použiť pozitívnu geometriu nástroja so špeciálnym „otvoreným“ tvarovačom triesky. Toto doporučené je však v protiklade s požiadavkou stability a pevnosti vymeniteľnej reznej doštičky. Vymeniteľné rezné doštičky musia mať preto dokonalé uloženie v držiaku a zosilnenú reznú hranu, aby bolo možné obrábať pri zaťažení vyššími reznými silami a tiež prerušovaným rezom.

K spevňovaniu za studena sú náchylné hlavne austenitické a superaustenitické ocele, patriace medzi druhy Duplex. Najväčšie rezné sily vznikajú pri obrábaní superaustenitických ocelí Duplex a oceliach martenzitických. Pri vlastnom procese obrábania (pri tvorení, tvarovaní a odvode triesky) kladú v dôsledku austenitickej štruktúry ocele superaustenitické a Duplex značné nároky.²

4.2 Opatrenie reznej hrany nástroja

Mechanizmus opotrebenia reznej hrany pri obrábaní koróziivzdorných ocelí je podobný ako pri obrábaní „normálnych“ konštrukčných uhlíkových ocelí – pozri obr.7. Jediný rozdiel je v tom, že sa niektoré druhy opotrebenia vytvárajú viac než iné, pretože vlastný proces obrábania prebieha v závislosti na vlastnostiach materiálu obrobku rôzne. Taktiež pri obrábaní koróziivzdornej ocele je najvýznamnejšie a najčastejšie opotrebenie na chrbte reznej doštičky, ktoré je možné zmenšiť správnu voľbou reznej rýchlosti a voľbou odolnejšieho druhu materiálu spekaného karbidu.

Ak porovnáme trvanlivosť reznej hrany (v minútach) pri obrábaní rôznych druhov koróziivzdorných ocelí, potom feritické a martenzitické druhy majú podobné hodnoty ako nízkoalloyované konštrukčné uhlíkové ocele, austenitické druhy majú hodnoty nižšie, superaustenitické a Duplex druhy majú najnižšie hodnoty.¹



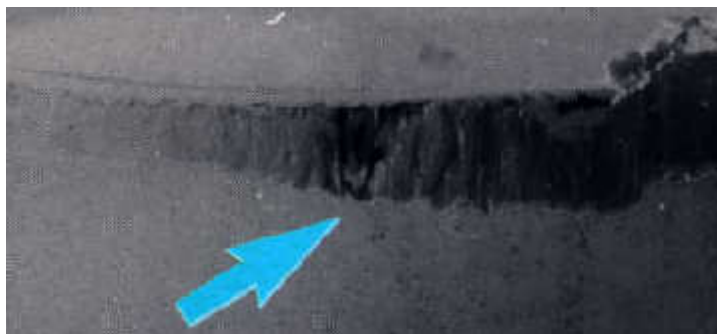
Obr.7 Opatrenie vymeniteľnej reznej doštičky²

Hlavné druhy opotrebenia nástroja vznikajúce pri sústružení koróziivzdorných ocelí:

- A. Opotrebenie chrbta reznej doštičky
- B. Opotrebenie v tvare žliabku na čele reznej doštičky
- C. Plastická deformácia reznej doštičky
- D. Hrebeňovité trhliny na reznej hrane
- E. Vylamovanie reznej hrany
- F. Nárastok
- G. Opotrebenie v tvare vrubu na chrbte reznej doštičky
- H. Odlupovanie povlaku

A. Opotrebenie chrbta reznej doštičky – obr.8

Vzniká na chrbte reznej doštičky v dĺžke záberu ostria. Tento druh opotrebenia ovplyvňuje polohu ostria a geometriu vymeniteľnej reznej doštičky. Častokrát je tento druh opotrebenia výhodný, lebo ostrie sa stáva „ostrejším“. Avšak s rastúcim stupňom opotrebenia tiež rastie trenie, čo vedie k zhoršeniu akosti obrobenej plochy a znižuje sa výkon obrábania. Hlavnou príčinou opotrebenia na chrbte je mechanizmus obrusovania, ktorý sa zvyšuje s rastúcou reznou rýchlosťou.²



Obr.8 Opotrebenie chrbta reznej doštičky²

B. Opotrebenie v tvare žliabku na čele reznej doštičky – obr.9

Vzniká na čele reznej hrany, kde sú pri obrábání vysoké tlaky a teploty. Mechanizmus difúzie a obrusovania spôsobujú odoberanie materiálu a môžu viesť k jeho porušeniu, lebo sa znižuje pevnosť reznej hrany.²



Obr.9 Opotrebenie v tvare žliabku na čele reznej doštičky²

C. Plastická deformácia reznej doštičky – obr.10

Nastáva pri zaťažení nástroja súčasne vysokou teplotou a vysokými tlakmi. Práve toto zaťaženie nastáva pri vysokých rezných rýchlostiach a posuvoch pri obrábaní tvrdých materiálov. Aby sme zabránili tomuto druhu opotrebenia je dôležitou vlastnosťou materiálu reznej doštičky tvrdosť za tepla. Ak už nastane deformácia reznej doštičky, dôjde v dôsledku ďalšieho nárastu teploty veľmi rýchlo k ďalšiemu rastu opotrebenia a k zvýšeniu kritického efektu kombinácie teploty a tlaku medzi nástrojom a obrobkom.²



Obr.10 Plastická deformácia reznej doštičky²

D. Hrebeňovité trhliny na reznej hrane – obr.11

Ich vznik poukazuje na únavu materiálu, ktorá je spôsobená náhlou zmenou teploty v oblasti rezania. Tento druh opotrebenia môže nastať pri prerušovanom reze a pri vydrolovaní reznej hrany, čo môže viesť až k zlomeniu reznej doštičky.²



Obr.11 Hrebeňovité trhliny na reznej hrane²

E. Vylamovanie reznej hrany – obr.12

Môže vzniknúť v dôsledku prílišného špičkového zaťaženia v oblasti rezania alebo ako dôsledok odtrhávania nárustku. Dôsledkom vylamovania ostria je značné opotrebenie reznej hrany a dokonca môže nastať zlomenie reznej dosťičky. Vylamovaniu mikro alebo makro častíc je možné v mnohých prípadoch zabrániť použitím húževnatejšieho druhu spekaného karbidu.²



Obr.12 Vylamovanie reznej hrany²

F. Nárustok – obr.13

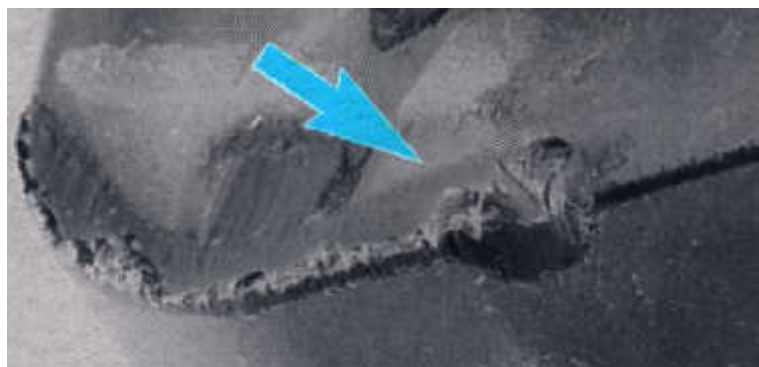
Je typ opotrebenia závislý z veľkej časti na teplote rezania, teda na reznej rýchlosti v súvislosti s materiálom obrobku a použitou geometriou nástroja, pričom afinita medzi oboma materiálmi môže byť skutočne rozdielna. Navarené čiastočky materiálu, ktoré tvoria nárustok, sa opakovane odtrhávajú a môžu spôsobiť vo veľmi krátkej dobe odlomenie reznej hrany.²



Obr.13 Nárustok²

G. Opotrebenie v tvare vrubu na chrbte reznej doštičky – obr.14

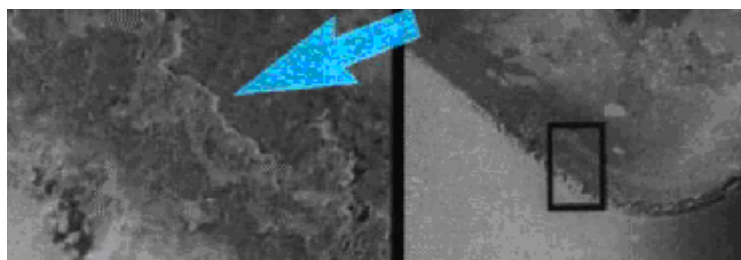
Ukazuje na vysoké mechanické zaťaženie a vzniká častejšie pri sústružení koróziivzdorných ocelí. Je spôsobené nestálym vylamovaním mikročastíc materiálu reznej doštičky, ktoré je spôsobilé oxidáciou v mieste styku reznej hrany a boku triesky. Opotrebenie v tvare vrubu na chrbte reznej doštičky spôsobuje tvorenie otrepov a spevnenie materiálu obrobku za studena. Oboje môže viesť k zlomeniu reznej doštičky. Zmenšenie tohto druhu opotrebenia je možné dosiahnuť použitím húževnatejšieho druhu spekaného karbidu a ostrou geometriou s kladným uhlom čela.²



Obr.14 Opotrebenie v tvare vrubu na chrbte reznej doštičky²

H. Odlupovanie povlaku – obr.15

Môže nastať pri povlakovaných rezných doštičkách v dôsledku použitia nevhodných podmienok obrábania alebo nevhodnou a nekvalitnou vrstvou povlaku. K odlupovaniu môže viesť tiež zlá priľnavosť vrstvy povlaku k základnému materiálu reznej doštičky, ako aj plastická deformácia reznej doštičky, keď je materiál obrobku veľmi tvárny alebo ak sú veľké rezné sily. Odhalený základný materiál je veľmi náchylný k tvoreniu nárastku, opotrebeniu v žliabku na čele a rýchlo rastúcemu opotrebeniu na chrbte reznej doštičky.²



Obr.15 Odlupovanie povlaku²

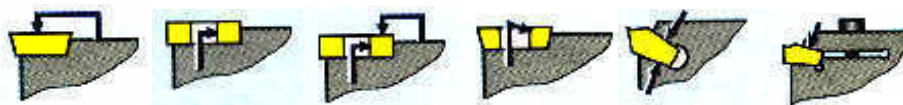
4.3 Vol'ba nástroja

Doporučený postup pri vol'be nástroja na sústruženie :

- A. Spôsob upínania vymeniteľnej reznej doštičky
- B. Typ a veľkosť držiaka (telesa nástroja)
- C. Veľkosť vymeniteľnej reznej doštičky
- D. Tvar vymeniteľnej reznej doštičky
- E. Geometria nástroja
- F. Materiál vymeniteľnej reznej doštičky spolu s druhom povlaku
- G. Rezné podmienky

A. Spôsob upínania vymeniteľnej reznej doštičky

Existuje veľa druhov systémov upínania pre rôzne oblasti použitia, operácie obrábania a ostatné faktory. Základné spôsoby upínania vymeniteľnej reznej doštičky podľa ISO znázorňuje obr. 16. Spôsob upínania vymeniteľnej reznej doštičky sa volí v závislosti na druhu operácie (hrubovacie alebo dokončovacie operácie), veľkosti a tvare vymeniteľnej reznej doštičky a v závislosti na veľkosti rezných síl vznikajúcich v procese obrábania. Pri výbere spôsobu upínania je snahou dosiahnuť presné a tuhé upnutie vymeniteľnej reznej doštičky schopné preniesť čo najväčšie rezné sily a zároveň dodržať rozmerové a povrchové tolerancie vyrábanej súčiastky.



Obr.16 Spôsoby upínania vymeniteľnej reznej doštičky podľa ISO ⁶

B. Typ a veľkosť držiaka (telesa nástroja)

Volí sa v závislosti na rozsahu použitia, obrobku a druhu operácie. Hlavné druhy sú držiaky s obdĺžnikovým prierezom (určené na vonkajšie sústruženie) a s kruhovým prierezom (určené na vnútorné sústruženie). Optimalizácia a všestrannosť sú najdôležitejšími hľadiskami pri voľbe správneho typu držiaka, ktorý musí byť v súlade s uhlom nastavenia reznej hrany a tvarom reznej doštičky. Volí sa držiak čo možno s najväčším prierezom, v závislosti na druhu operácie a veľkosti obrobku. Držiak nesmie zabráňovať dostatočnému prísunu chladiaceho média do miesta rezu a plynulému odchodu triesky.

C. Veľkosť vymeniteľnej reznej doštičky

Veľkosť reznej doštičky je rozhodujúca pre hĺbku rezu a efektívnu dĺžku reznej hrany. Dôležité je taktiež vzájomné zladenie kombinácie polomeru špičky, rozsahu posuvov a stability reznej doštičky, pričom posuv často rozhoduje o produktivite pri hrubovaní, volia sa väčšie rezné doštičky s väčším polomerom špičky. Pri obrábaní na čisto je predovšetkým dôležitý polomer špičky, lebo vykonáva vlastné rezanie a tak určuje kvalitu obrobeného povrchu.

D. Tvar vymeniteľnej reznej doštičky

Zo siedmich základných tvarov je možné pre každý prípad obrábania nájsť vhodnú kombináciu, od kruhovej až po kosodĺžnikovú doštičku s uhlom 35 stupňov. Tvar vymeniteľnej reznej doštičky volíme v závislosti na druhu operácie, spôsobe upínania vymeniteľnej reznej doštičky, tvare dosadacej plochy, veľkosti držiaku a mnohých iných faktoroch. Na hrubovací operácie sú vhodné tvary rezných doštičiek - S, C, R, T a na dokončovacie operácie – K, W, V, T ktoré sú zobrazené a obr.17.



Obr.17 Základné tvary vymeniteľných rezných doštičiek podľa ISO ⁶

E. Geometria reznej hrany

Volí sa v súlade s rozsahom použitia, spôsobom obrábania, pracovnými podmienkami a materiálom obrobku. Obr.18 a obr.19 znázorňujú základnú geometriu vymeniteľnej reznej doštičky.

F. Materiál vymeniteľnej reznej doštičky

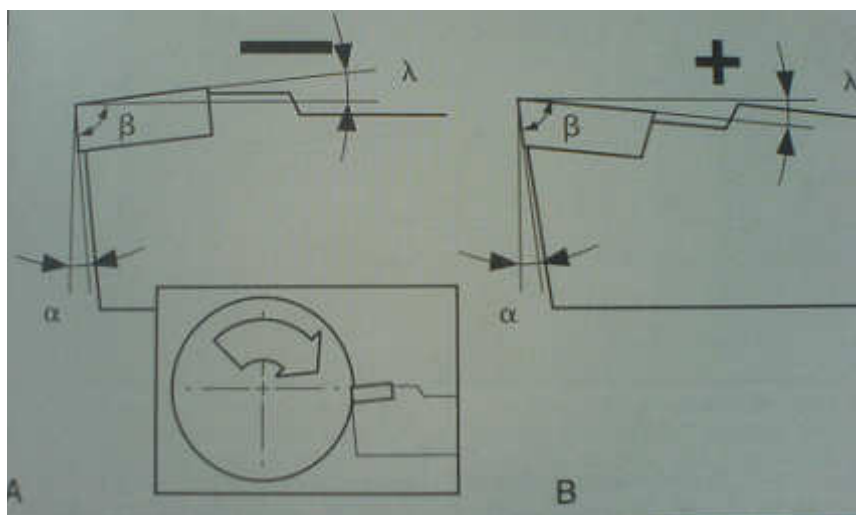
Existujú tri základné druhy spekaných karbidov- P, M a K. Vymeniteľné rezné doštičky vyrobené zo spekaného karbidu s označením P sú určené na obrábanie ocele, M na koróziivzdornú oceľ a K na liatiny. Doplnkové druhy rozširujú paletu spekaných karbidov určených na obrábanie špeciálnych druhov materiálov. Pri obrábaní na čisto by mala byť pred všetkými ďalšími výkonovými faktormi rozhodujúca kvalita obrobku, tj. akosť obrobenej plochy a presnosť rozmerov, preto sa doporučuje voliť rezné doštičky odolné proti opotrebeniu. V rozsahu stredného obrábania a pri hrubovaní majú prvoradý význam bezpečnosť a výkon obrábania, volia sa rezné doštičky pevné so schopnosťou prenosu čím najväčších rezných síl.

G. Rezné podmienky

Rezné podmienky musia zodpovedať materiálu obrobku, typu reznej doštičky, pracovným podmienkam, trvanlivosti reznej hrany a spoľahlivosti obrábania. Optimalizáciu rezných podmienok môžeme uskutočniť taktiež podľa doporučených hodnôt zostavených v závislosti na analýze opotrebenia reznej hrany nástroja. Rezná rýchlosť spolu s posuvom sú hlavnými faktormi k zlepšeniu produktivity. ¹

4.4 Geometria vymeniteľných rezných doštičiek na sústruženie koróziivzdorných ocelí

V dnešnej dobe existuje množstvo vymeniteľných rezných doštičiek vyvinutých na sústruženie koróziivzdorných materiálov. Je to kombinácia špeciálne vyvinutého druhu spekaného karbidu a geometrie reznej časti, ktorá je optimalizovaná s cieľom dosiahnutia maximálneho výkonu pri obrábaní koróziivzdorných ocelí. Toto zaručuje výkon obrábania, ktorý je možné dosiahnuť iba nástrojom vyvinutým pre toto použitie.



Obr.18 Základné nástrojové uhly. α - uhol chrbta, β - uhol britu, λ - uhol čela ¹

Vymeniteľných rezných doštičiek na sústruženie koróziivzdorných ocelí je množstvo druhov od rôznych výrobcov, pričom geometria sa neustále vyvíja.

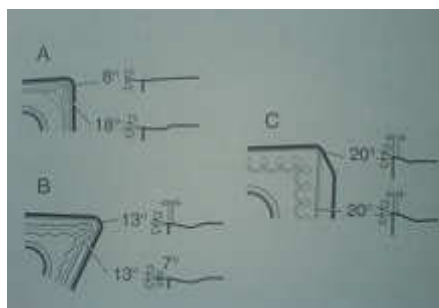
Mäkký, plynulý rez vymeniteľných rezných doštičiek je exaktnou požiadavkou na obrábanie koróziivzdorných ocelí. Táto požiadavka sa dosahuje kladným uhlom čela, optimálnym prevedením fazetky a optimálnou konštrukciou tvarovača. Výsledkom sú malé rezné sily a nepatrný vývin tepla. V kombinácii s vhodným druhom spekaného karbidu, ktorý je stabilný pri vyšších teplotách a hlavne je odolný proti plastickej deformácii, má dobrú húževnatosť a nanosený povlak má vynikajúcu príľnavosť k základnému materiálu a je odolný proti opotrebeniu, je možné získať zlepšenie výsledkov v celej rade operácií.



Obr.19 Uhol čela a uhol sklonu ostria ¹

Stabilita vymeniteľnej reznej dosťičky v lôžku držiaka je vzhľadom k veľkému zaťaženiu, ktorému je rezná dosťička vystavená behom obrábania koróziivzdorných ocelí, veľmi dôležitá. Tento poznatok bol zobrať v úvahu pri riešení tvaru dosadacej plochy reznej dosťičky, ktorá musí zabrániť klopeniu dosťičky. Vymeniteľné rezné dosťičky sú väčšinou obojstranné a tým je ich použitie v praxi veľmi hospodárne. Všetky rezné hrany vymeniteľnej reznej dosťičky sú zhotovené s pozitívnou fazetkou. Tým sa získa väčšia bezpečnosť obrábania, dlhšia a spoľahlivejšia trvanlivosť. Vzhľadom k tomu, že sa oblasti použitia vymeniteľných rezných dosťičiek, vhodných na rôzne druhy materiálov, vzájomne prekrývajú, majú v praxi veľké uplatnenie. Špeciálne v strednom rozsahu rezných podmienok sú rezné dosťičky, ktoré sú vhodné na obrábanie koróziivzdorných ocelí, ale aj rôznych iných druhov materiálov. Takýmto riešením sa dosiahli veľké možnosti použitia vymeniteľných rezných dosťičiek, čím sa znižujú skladové zásoby nástrojov.

Existujú tri základné geometrie vymeniteľných rezných dosťičiek skupiny určenej na obrábanie koróziivzdorných ocelí. Prvá je dosťička s geometriou pre stredné obrábanie (Obr.20-A), ktorá má širokú oblasť použitia. Väčšinou sa jedná o viachrannú dosťičku (záleží od výrobcu) vhodnú na všetky práce od hrubovania až po obrábanie na čisto. Ďalšia geometria bola vyvinutá špeciálne pre obrábanie na čisto (Obr.20-B) a používa sa pri obrábaní menšími prierezmi triesok. Tretia základná geometria vymeniteľnej reznej dosťičky je vhodná na ťažké, náročné hrubovacie operácie (Obr.20-C), ktoré vyžadujú veľmi stabilnú reznú hranu. Pre ľahšiu identifikáciu o akú geometriu sa jedná, sú dosťičky opatrené už pri spekaní údajom, ktorý obsahuje označenie geometrie a veľkosť polomeru špičky. Vymeniteľné rezné dosťičky skupiny určenej na obrábanie koróziivzdorných ocelí majú veľmi ostrú reznú hranu a nepatrne zaoblené ostrie.



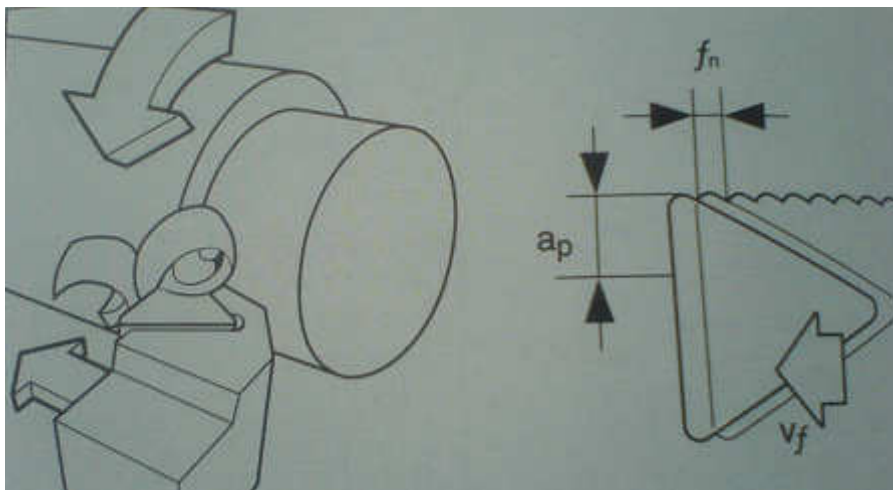
Obr.20 Tri základné geometrie vymeniteľných rezných dosťičiek ¹

Druhy spekaného karbidu pre vymeniteľné rezné dosťičky určené na sústruženie koróziivzdorných ocelí

Na obrábanie koróziivzdorných ocelí je, špeciálne pre vymeniteľné rezné dosťičky, určených približne 500 druhov spekaného karbidu. Znalosť podmienok sústruženia koróziivzdorných ocelí a skúsenosti s vývojom rôznych druhov spekaného karbidu a s metódami povlakovania umožnili dosiahnutie vyššej úrovne obrábania. Skupina základných troch druhov geometrií vymeniteľných rezných dosťičiek bola doplnená špeciálne povlakovanými druhmi, vyrábanými metódou PVD a CVD. Sú to vysoko výkonné druhy, ktoré sú odladené na odolnosť proti vysokým teplotám rezania a problémom, ktoré môžu viesť k zmene tvrdosti, trecích vlastností a odlupovaniu povlaku. ²

4.5 Oblasť použitia vymeniteľných rezných doštičiek

Špecifikácia rezných podmienok, od výrobcov vymeniteľných rezných doštičiek Pramet, Sandvik a Walter, pre vymeniteľné rezné doštičky určené na: hrubovacie (Tab.1), dokončovacie (Tab.2) a hrubovacie aj dokončovacie operácie (Tab.3) pri sústružení austenitických koróziivzdorných ocelí.



Obr.20 Hĺbka rezu- a_p , posuv na otáčku- f_n , rezná rýchlosť- v_f ¹

Tab.1

	Pramet	Sandvik	Walter
Hĺbka rezu	1,5-7 mm	2-8 mm	1,5-9 mm
Posuv na otáčku	0,2-0,6 mm	0,25-0,7 mm	0,25-0,75 mm
Rezná rýchlosť	80-160 m/min.	100-190 m/min.	120-210 m/min.

Tab.2

	Pramet	Sandvik	Walter
Hĺbka rezu	0,08-1,4 mm	0,1-1,5 mm	0,07-1,6 mm
Posuv na otáčku	0,09-0,3 mm	0,1-0,4 mm	0,04- 0,35 mm
Rezná rýchlosť	do 300 m/min.	do 330 m/min.	do 350 m/min.

Tab.3

	Pramet	Sandvik	Walter
Hĺbka rezu	0,35-4,5 mm	0,5-4 mm	0,25-5 mm
Posuv na otáčku	0,1-0,5 mm	0,15-0,6 mm	0,1-0,6 mm
Rezná rýchlosť	120-250 m/min.	150-270 m/min.	135-280 m/min.

5. Záver

V práci som sa zamerlal na problematiku obrábania koróziivzdorných ocelí z hľadiska chemického zloženia, fyzikálnych a mechanických vlastností. Ďalej som sa čiastočne zaoberal rozborom problematiky obrábania, špecifikáciou geometrie a materiálu rezného nástroja ako aj reznými podmienkami. Z hľadiska špecifických vlastností koróziivzdorných ocelí je problematika ich obrobitelnosti špecifickou oblasťou obrábania.

Koróziivzdorná oceľ je legovaná oceľ, ktorá tvorí špeciálnu skupinu ocelí. Hlavnými legujúcimi prvkami sú chróm /Cr/ a nikel /Ni/, pričom oceľ má nízky obsah uhlíka. Podiel jednotlivých legujúcich prvkov je určovaný podľa potreby dosiahnutia špeciálnych vlastností materiálu a ich vplyv sa prejavuje v rôznych smeroch.

Rôzne druhy koróziivzdorných ocelí majú rôzne vlastnosti. Mechanické vlastnosti ocelí sa charakterizujú predovšetkým jej pevnosťou, to znamená jej chovaním pri tlakovom a ťahovom zaťažení. Tieto vlastnosti sú závislé na teplote. Taktiež fyzikálne vlastnosti koróziivzdorných ocelí sú závislé na teplote.

Feritické koróziivzdorné ocele sú podobné konštrukčným uhlíkovým oceliam, pretože majú podobné mechanické vlastnosti. Martenzitické koróziivzdorné ocele majú feritickú mriežku, ale mriežka obsahuje karbidy chrómu, čo síce zvyšuje koróziivzdornosť tohto druhu ocelí, ale zvyšuje ich tvrdosť, čo nepriaznivo vplyva na ich obrobitelnosť. Austenitické koróziivzdorné ocele sa v praxi používajú najčastejšie, pretože majú vynikajúcu koróziivzdornosť a dobrú žiarupevnosť. Je ich možné používať do teploty 750°C. Pre austeniticko-feritické koróziivzdorné ocele je charakteristická vysoká medza klzu až do teploty 400°C. Vytvrditeľné koróziivzdorné ocele získavajú tepelným spracovaním pri relatívne nízkych teplotách veľmi vysokú pevnosť, ktorá sa neprejaví na kvalite presnosti obrobku.

Z hľadiska obrobitelnosti sa ukázali najlepšie obrobitel'né, za studena ťahané, mäkké feritické ocele. Martenzitické druhy s nízkym obsahom Cr alebo C sú lepšie obrobitel'né ako austenitické ocele. Martenzitické ocele je výhodné obrábať v žíhanom alebo v zušľachtenom stave, aby sme predišli tomu, že tvrdosť obrobku by bola na povrchu dokonca až dvakrát vyššia ako uprostred. Austenitické ocele sa ukázali dobré obrábať v stave po ťahaní za studena s následným príslušným tepelným spracovaním, aby sa predišlo deformačnému spevneniu, pretože austenit je sám o sebe veľmi náchylný k spevňovaniu za studena, čo je najväčším problémom pri obrábaní austenitických ocelí. Je nutné sa vyvarovať vysokým teplotám v zóne rezania, aby sme zabránili prekaleniu oceli

Obrobitelnosť koróziivzdorných ocelí značne kolíše, pretože legujúce prvky majú veľký vplyv na samotný proces obrábania a už malý rozptyl jednotlivých legujúcich prvkov v štruktúre materiálu spôsobí výrazné zmeny z hľadiska obrobitelnosti koróziivzdorných ocelí. Preto je nutné venovať zvýšenú pozornosť voľbe geometrie vymeniteľnej reznej doštičky, druhu rezného materiálu a podmienkam obrábania s ohľadom na rôzne typy materiálov. Základnými predpokladmi pre efektívne obrábanie koróziivzdorných ocelí sú, tuhá konštrukcia stroja, tuhý a pevný nástroj, veľmi pozitívna geometria a optimálna konštrukcia tvarovača vymeniteľnej reznej doštičky ako aj správne nastavenie rezných parametrov (tj. hĺbka rezu, posuv na otáčku a rezná rýchlosť).

Na obrábanie koróziivzdorných ocelí sa doporučuje použiť pozitívnu geometriu nástroja so špeciálnym „otvoreným“ tvarovačom triesky. Toto doporučení je však v protiklade s požiadavkou stability a pevnosti vymeniteľnej reznej doštičky. Vymeniteľné rezné doštičky musia mať preto dokonalé uloženie v držiaku a zosilnenú reznú hranu, aby bolo možné obrábať pri zaťažení vyššími reznými silami a tiež prerušovaným rezom.

Znalosť podmienok sústruženia koróziivzdorných ocelí a skúsenosti s vývojom rôznych druhov spekaného karbidu a s metódami povlakovania umožnili dosiahnutie vyššej úrovne obrábania.

Zoznam použitej literatúry

- [1] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Průručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [2] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Sútružení korozivzdorných ocelí*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2001. 88 s. Přel. z: Stainless steel turning.
- [3] KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [4] *Nástroje ze slinutého karbidu*. WALTER AG - WALTER CZ spol s r. o. Rakousko. listopad 1999. 407 367-292.
- [5] PTÁČEK, L. a kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002. 392 s. ISBN 80-7204-130-4.
- [6] *Sústruženie 2008 SK (katalóg)*. PRAMET CZ spol s r. o. Dostupné na World Wide Web:
< <http://www.pramet.com/download/katalog/Turning%202008%20SK.pdf> >
- [7] Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Kyocera, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Sumitomo, Walter, Widia.